ダム取水塔ゲートの地震時応答の理論解析

東洋大学工学部 フェロー 荻原 国宏
学生 原 康晃
栗本鐵工所 園田 修次

ダムの取水塔の形式にはいくつかあるが、現在多く使用されているのは、多段ゲートで直線型、半円形型、円筒型等の3種類である。ここでは直線多段ゲートの場合についての解析を示す。直線多段ゲートではゲート背面を鉛直に流れる流れがあり、この流れと直角方向に地震時の運動は起こることになる。これがもっとも一般的でシンプルな場合であり、図-1のような支持形態を取っている場合が多い。

すなわち直線の桁または平板のゲートを両端にローラーをつけて戸溝の入れている。上段のゲートが下段のゲートを引っ掛ける形の形式と各ゲートにロープがある場合もある。ゲートは従って両端のローラーで支えられる単純支持の形式である。このとき地震の荷重を最も強く受けるのはゲートに直角の方向の地震を受ける場合である。

水圧の差が大きい最下段のゲートではかなり剛性が大きくなり、剛体運動をする可能性もある。地震が起こったときにその力はピアーからローラーを通じてゲートに伝えられる構造である。

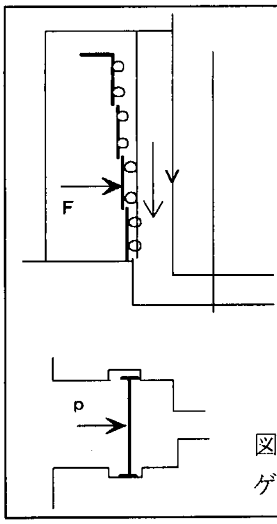


図-1 直線多段ゲート

[1] 剛性板の回りの流れ

最も基本的な形態として剛性板の場合について考えて見よう取水塔構造物の中間部を考慮して、現象を単純化しよう。取水部の一部を取り出すと、取水構造物の外側(貯水池側)は静水状態である。また取水構造物の内側は水が板に沿って鉛直方向に流れている。

この状態で地震力を受けると、板はローラー等を通じて流れと直角方向の運動をする。このときに板にどのような力が生ずるかについて検討をすればよいことになる。

単純化した場合の流れを図-2に示す。板は無限の長さを持つものの一部を取り出したと考える。板の左側は流れが無い。すなわち

$$x<0 \qquad u=0,\ v=0 \tag{1}$$

であり。右側では

$$x>0 \qquad u=0,\ v=U \tag{2}$$

である。

このとき地震を受けると板は(3)式の運動をし、(4)式の速度となる。

$$t>0,\quad \eta = A_0 \sin\omega t \qquad (3) \qquad u = A_0\omega\cos\omega\, t \qquad (4)$$

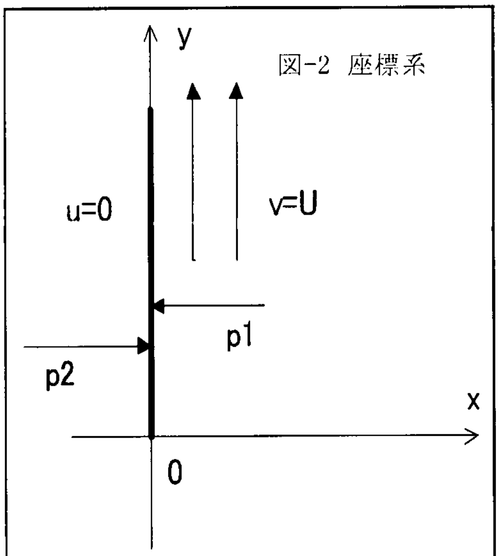


図-2 座標系

この条件を速度ポテンシャルの形で表し、その境界条件を満足する速度ポテンシャルを求めると、地震によって板に加わる力が求められる。

地震が起こって板が揺れている状態を考えると

キーワード：地震時動水圧、ダム取水塔、直線多段ゲート、選択取水
連絡先〒350-8585,川越市鯨井 2100, TEL:0492-39-1395, FAX0492-31-4482, ogihara@toyonet.toyo.ac.jp

$$x<0,\quad u=\frac{\partial\phi}{\partial x}=A_0\omega\cos\omega\,t,\ v=v \qquad (5) \qquad\qquad x>0,\quad u=\frac{\partial\phi}{\partial x}=A_0\omega\cos\omega\,t,\ v=U+v \qquad (6)$$

となる。結局右側と左側では条件が異なるので、それぞれ別に解を求めることになる。

(1) 板の左側の場合（流れが無い場合）　このときの条件は(5)式であるが、これは板の部分の境界条件である。水のある部分の条件はラプラスの式を満たさなければならない。満たす解を求めると、速度及び速度ポテンシャルは

$$u=-\lambda A\sin(\lambda x+\omega t)e^{-\lambda y},\quad v=-\lambda A\cos(\lambda x+\omega t)e^{-\lambda y} \qquad (7)$$

$$A=-\frac{A_0\omega}{\lambda} \qquad (8) \qquad\qquad \phi=-\frac{A_0\omega}{\lambda}\cos(\lambda x+\omega t)e^{-\lambda y} \qquad (9)$$

となる。

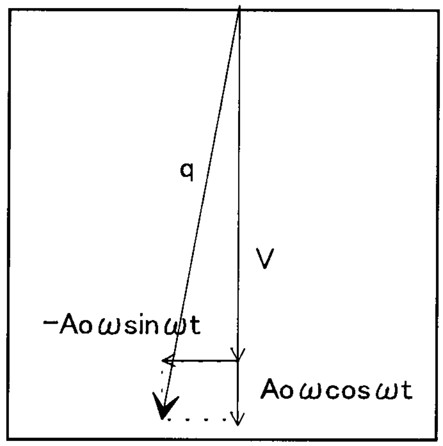
(2)　板の右側の場合　　板の右側の場合には鉛直方向に向かう流れが存在し、そこを流れと直角に地震動の運動が加わることになる。ここで速度ポテンシャルを時間に関係ある項と無い項に分割して次ぎのように表示しよう。

$$\phi=\phi_1(x,y,t)+\phi_2(x,y) \qquad (10)$$

ラプラスの式を満たす一般解を ϕ_1 は(9)式と同じ形式に、ϕ_2 は時間項に関係無いわけであるので V に関する式として表して、解を求めると速度ポテンシャルと速度は次のようになる。

$$\phi=-\frac{A_0\omega}{\lambda}\cos(\lambda x-\omega t)e^{-\lambda y}+V\,y \qquad (11)$$

$$u=A_0\omega\sin(\lambda x-\omega t)e^{-\lambda y},\quad v=A_0\omega\cos(\lambda x-\omega t)e^{-\lambda y}+V \qquad (12)$$



[2] 板に働く地震時の圧力

速度ポテンシャルが求められたので、板に働く圧力を求めよう圧力の式は

$$\frac{p}{\rho}=-\frac{\partial\phi}{\partial t}-\frac{u^2+v^2}{2} \qquad (13)$$

である。第 1 項からは

$$\frac{p}{\rho}=-\frac{\partial\phi}{\partial t}=-\frac{A_0\omega^2}{\lambda}\sin(\lambda x-\omega t)e^{-\lambda y} \qquad (14)$$

が求まる。第2項の場合に速度が 2 乗になっているので速度の向きと同じ向きに圧力が働くように考える。合成速度は $q^2=u^2+V^2$ である。これに速度の関係式を代入して整理すると(15)式となる。Vとqのなす角を θ とすると(16)式となる。

$$q^2=(-A_0\omega\sin\omega\,t)^2+(V+A_0\omega\cos\omega\,t)^2 \qquad (15) \qquad\qquad \theta=\frac{-A_0\omega\sin\omega t}{V+A_0\omega\cos\omega\,t} \qquad (16)$$

この角度変化で速度ベクトルは板の方に向かったり、離れたりしていることになる。

さて(15)式は展開すると

$$q^2=(A_0\omega)^2+V^2+2V\,A_0\omega\cos\omega\,t \qquad (16)$$

のように書ける。V^2 の項は地震がなくても働いている力であり。最初の項は地震が起こったための力で、一定の大きさで働いている力である。時間変動する項は最終の項で、これは平行流の速度と地震動の速度で構成されている。従って地震による圧力変動は(13)式の第 1 項と 2 項の和として次の式で与えられる。

$$\frac{p}{\rho}=-\frac{A_0\omega^2}{\lambda}\sin(\omega\,t)-\frac{(A_0\omega)^2+2V\,A_0\omega\cos\omega t}{2} \qquad (17)$$